

# МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК, ИНВАРИАНТНЫЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ, ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ГТД

Лиманова Н.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Фактором, значительно осложняющим решение проблемы обеспечения надежности в элементах конструкции ГТД, является вибрация. Для определения параметров вибрации труднодоступных элементов двигателей наиболее подходят рефлектометрические волоконно-оптические датчики (ВОД), т.к. они имеют малые габариты, массу, хорошую гибкость, обладают работоспособностью в агрессивных и взрывоопасных средах, на них не действуют электрические и магнитные помехи. Однако, особенностью проведения измерения изнутри и снаружи ГТД является наличие дестабилизирующих процесс измерения факторов, например, таких как запыленность среды между торцом волоконно-оптического жгута и объектов контроля, наличие внешних засветок, загрязнение поверхности элемента конструкции ГТД, которое приводит к изменению коэффициента отражения поверхности объекта контроля (коэффициент отражения света от контролируемой поверхности различен для разных объектов, это зависит от типа материала и чистоты обработки поверхности). В результате измерения питающих напряжений, старения и т.д. могут изменяться мощность источника излучения и чувствительность фотоприемника. Все эти факторы приводят к ошибке в определении параметров вибрации. Кроме того, функция преобразования ВОД существенно не линейна, что ограничивает диапазон измерений. Длина линейного участка функции преобразования существующих рефлектометрических ВОД, имеющих погрешность измерения, обусловленную нелинейностью функции преобразования, не более 6%, но не превышает 50-100мкм. Функция преобразования рефлектометрического ВОД приведена на рис. 1. Кривая 1 отображает номинальную ФП ВОД. Действие дестабилизирующих факторов на датчик может привести к тому, что реальная функция преобразования будет располагаться выше (кривая 2) или ниже (кривая 3) номинальной. На рисунке обозначено:  $(z_{n1}, U(z_{n1}))$ ;  $(z_{n2}, U(z_{n2}))$  – координаты рабочих точки,  $z$  – измеряемое перемещение,  $U(z)$  – выходной сигнал ВОД (сигнал с выхода фотоприемника ВОД).

Для того чтобы использовать достоинства ВОД и нейтрализовать недостатки, предлагается применять разработанные автором многоканальные волоконно-оптические структуры и специальные алгоритмы об-

работки сигналов с выходов измерительных каналов. Многоканальные ВОД позволяют также реализовать контроль вида реальной функции преобразования измерительного устройства с помощью соотношения величины производной сигнала фотоприемника по измеряемому параметру, выраженной в конечных приращениях, к действительной величине сигнала с фотоприемника [1].

С помощью второй производной сигнала фотоприёмника по измеряемому параметру  $\frac{\partial U^2}{\partial^2 z}$  удаётся непосредственно в процессе измерения вибрации устанавливать торец жгута световодов на середину линейного участка ФП ВОД, и, не прерывая процесс измерения, контролировать величину установочного зазора. Как известно [2], линейность рабочего участка соблюдается в наибольшем диапазоне вблизи точек перегиба  $(z_{n1}, U(z_{n1})), (z_{n2}, U(z_{n2}))$  функциональной зависимости (см. рис. 1). Кроме того, вблизи этих точек обеспечивается наибольшая чувствительность ВОД к вибрации. При  $z < z_{n1}$  и  $z > z_{n2}$  зависимость  $U$  от  $z$  выпукла вниз, и  $\frac{\partial U^2}{\partial^2 z} > 0$ , а при  $z_{n1} < z < z_{n2}$  — выпукла вверх

$\frac{\partial U^2}{\partial^2 z} < 0$ . Приближая торец жгута световодов к поверхности контролируемого объекта или удаляя их от неё, можно добиться попадания в точку  $(z_{n1}, U(z_{n1}))$  или в точку  $(z_{n2}, U(z_{n2}))$ .

Схема ВОД, реализующего методику выхода на точку перегиба функции преобразования, приведена на рис. 2. Устройство, кроме того, позволяет исключить влияние дестабилизирующих факторов на результат измерений.

На рисунке обозначено: 1-источник излучения, 2-жгут излучающий ВС, 3,4 и 5-первый, второй и третий жгуты приёмных волокон световодов соответственно, 6-8-фотоприёмники, 9-11-фильтры нижних частот, 12-сумматор, 13,14-блоки вычитания, 15-блок деления, 16-масштабный преобразователь 17,18-регистраторы. Оптические оси торцов жгутов 3,4 и 5 расположены на одинаковом расстоянии от оптической оси торца жгута 2. Торцы жгутов 4 и 5 смещены относительно торцов жгутов 2 и 3 в направлении перемещений объекта контроля на фиксированные расстояния  $\Delta$  и  $-\Delta$ , соответственно. Сигналы с фотоприёмников 6–8 содержат постоянную составляющую, пропорциональную расстоянию до контролируемого объекта, и переменную составляющую, пропорциональную мгновенному значению виброперемещений. С выходов фильтров низкой

частоты 9–11 снимаются постоянные составляющие сигналов, величины которых, если считать рабочий участок линейным, соответственно равны

$$U_1 = a_0 + a_1 z,$$

$$U_2 = a_0 + a_1(z + \Delta)$$

$$U_3 = a_0 + a_1(z - \Delta),$$

Здесь  $a_0, a_1$  — коэффициенты, описывающие наклон и смещение рабочего участка функции преобразования ВОД, могут изменяться под действием дестабилизирующих факторов,  $z$  — установочный зазор, т.е. рабочее расстояние между торцом волоконно-оптического жгута и объектом контроля, при котором производят измерения виброперемещений.

Сигнал с фотоприёмника 6 можно описать выражением

$$U_4 = a_0 + a_1(z + z_v),$$

где  $z_v$  — измеряемое виброперемещение. О величине виброперемещения судят по формуле

$$z_v = \frac{U_4 - U_1}{U_2 - U_3} 2\Delta. \quad (1)$$

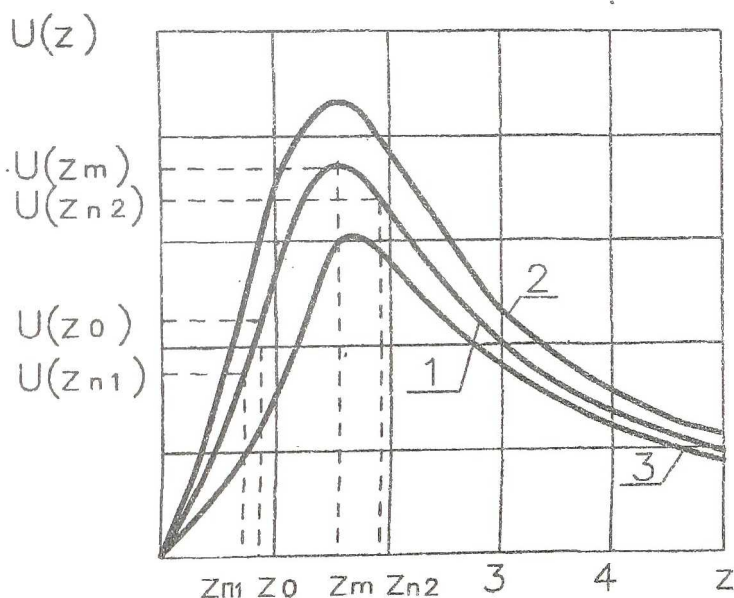


Рисунок 1 - Функция преобразования рефлектометрического ВОД и влияние на нее дестабилизирующих факторов

Точность определения величины  $z_v$  не зависит от величины коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  функции преобразования ВОД и от их изменения под действием дестабилизирующих факторов.

Алгоритм (1) реализует ВОД, схема которого приведена на рис. 2. На выходах блоков 13 и 14 формируются сигналы  $U_4 - U_1$  и  $U_2 - U_3$ , соответственно, которые поступают на входы блока 15 деления. Сигнал с выхода последнего регистрируется блоком 17, а масштабный преобразователь 16 учитывает величину множителя  $2\Delta$ .

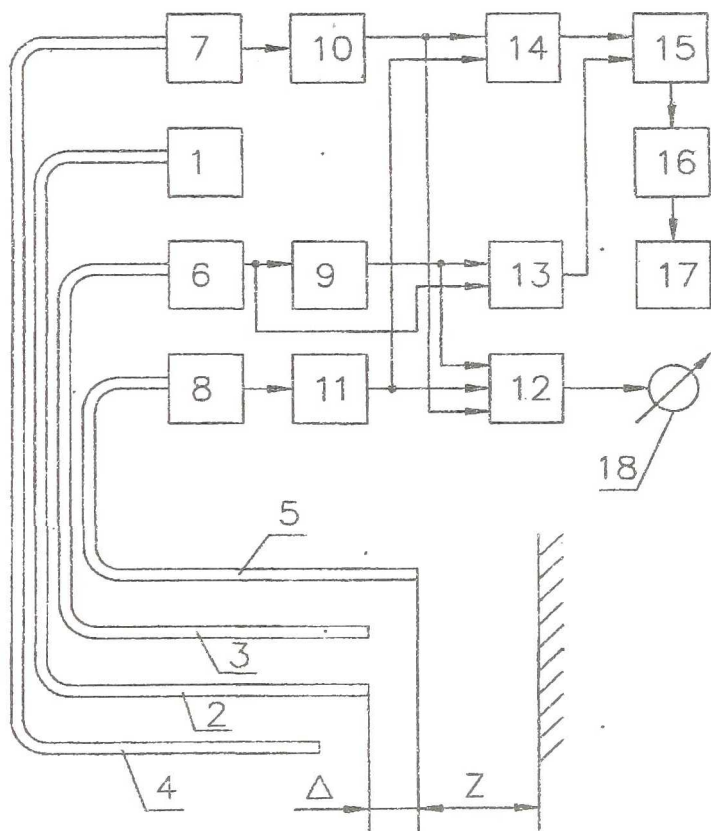


Рисунок 2 - ВОД вибрации, реализующий методику выхода на точку перегиба функции преобразования



Однако точность нахождения величины  $z_v$  с помощью выражения (1) будет значительно снижаться, если реальный участок ВОД выйдет за пределы линейности функции преобразования ВОД, например, в результате воздействия на датчик дестабилизирующих факторов.

Для того, чтобы выйти на точку перегиба зависимости  $U(z)$ , необходимо в процессе контроля постоянно определять значение  $\frac{\partial U^2}{\partial z^2}$ . Эту величину можно выразить в конечных приращениях  $z$  путем формирования сигнала.

$$Q = U_2 + U_3 - 2U_1$$

Сигнал  $Q$  равен нулю в том случае, если торец измерительного жгута 3 находится на расстоянии  $z_{n1}$  или  $z_{n2}$  от отражающей поверхности контролируемого объекта. Если  $Q > 0$  и торец жгута 3 расположен вблизи точки перегиба  $z_{n1}$ , то жгут световодов следует отодвинуть от поверхности контролируемого объекта, если  $Q < 0$ , то приблизить к поверхности контролируемого объекта. Сигнал  $Q$ , формируемый согласно (2), появится на выходе сумматора 12. Регистратор 18 фиксирует отклонение величины  $Q$  от 0.

Таким образом, ВОД позволяет устанавливать торец жгута световодов в точку перегиба функциональной зависимости и определять реальные коэффициенты функции преобразования непосредственно в процессе измерения вибрации.

Возможность выхода на середину линейного участка функции преобразования ВОД, точная установка рабочего расстояния между датчиком и вибрирующей поверхностью непосредственно в процессе измерения вибрации, а также непрерывный контроль этого расстояния приводит к увеличению точности измерений. Кроме того, снижено влияние фоновой засветки фотоприёмников на точность измерения вибраций, т.к. в процессе формирования величины  $z_v$  происходит вычитание сигналов, наводимых фоновой засветкой. Описание ВОД позволяет с погрешностью 0,1% контролировать как рабочий зазор, так и амплитуду вибрации.

#### Список литературы

1. А.с. 1742620 СССР, МКИ G 01 B 21/00. Преобразователь перемещений / Н. И. Лиманова. - Опул. 23.06.92. Бюл. 23
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука, 1986.